

내시경 두개저 수술의 최신 지견

연세대학교 의과대학 이비인후과교실 나지나, 문인석

Latest updates of endoscopic lateral skull base surgery

Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Gina Na, In Seok Moon

교신저자 In Seok Moon

논문 접수일 : 2019년 4월 25일

논문 완료일 : 2019년 5월 23일

주소 : Department of Otorhinolaryngology,
Severance Hospital, Yonsei University
College of Medicine, 50-1, Yonsei-ro,
Seodaemun-gu, Seoul 03722, Korea

Tel : +82-2-2228-3606

Fax : +82-2-393-0580

E-mail : ismoonmd@yuhs.ac

The start of neurotologic surgery using endoscope dates back to the 1960s, but there has been much debates as to whether or not to replace operative microscope. Therefore, endoscope has been mainly used for diagnostic purposes for a while. Recently, with the increasing interest in minimally invasive surgery, various surgical procedures have been tried in the field of neurotology and their success has been reported. In this review, cases of vestibular schwannoma, facial nerve decompression, glomus tumor, petrous apex cholesterol granuloma, venous malformations of the facial nerve, and perilymph fistula are summarized.

Key Words Endoscopy, Neurotology, Skull base

INTRODUCTION

신경이과영역(neurotologic field)에서 내시경을 이용한 수술의 시작은 거슬러 올라가 1960년대부터이긴 하나 현미경 수술을 대체할 수 있을지에 대해서는 많은 논쟁이 있었다.[1] 수술 시 한 손에는 내시경을 잡고 다른 한 손만으로 수술기구를 사용해야 하기 때문에 양손을 자유롭게 사용하는 수술 현미경보다 기구 조작이 어렵고, 출혈이 조금만 있어도 시야 제한이 크다는 단점 때문이다. 따라서 한동안 진단적인 목적으로 내시경이 주로 활용되었으나 최소 침습수술에 대한 관심이 증가하면서 최근 몇 년 사이에 내시경을 활용한 이과 수술에 대한 관심이 전 세계적으로 증가하고 있는 추세이다. 현미경은 직선 시야를 가지기 때문에 좁은 공간에서 사각 지대에 숨어있는 병변에 대한 시야 확보가 어려운 데 비해, 내시경은 자체의 시야각이 현미경보다 넓고 다양한 각도(0°, 30°, 45°, 70°)의 내시경을 이용해 사각(blind spot)을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 또한 내시경 관련 기술의 발달과 미세 수술기구의 개발로 내시경 수술을 적용할 수 있는 범위가 점점 넓어지고 있다.

이에 발맞추어 신경이과학 분야에서도 다양한 수술이 시도되고 그 성공 사례가 보고되고 있다. 두개저 수술을 위해 사용되는 기여도에 따라 내시경은 절대적(exclusive endoscopic skull base surgery) 또는 보조적인(endoscope assisted skull base surgery) 역할을 하여 기존 광학현미경의 역할을 완전히 대체하거나 적절히 보완하고 있다. 본 종설에서는 내시경을 이용한 다양한 두개저 수술의 증례들과 최신 지견에 대하여 소개 및 고찰하고자 한다.

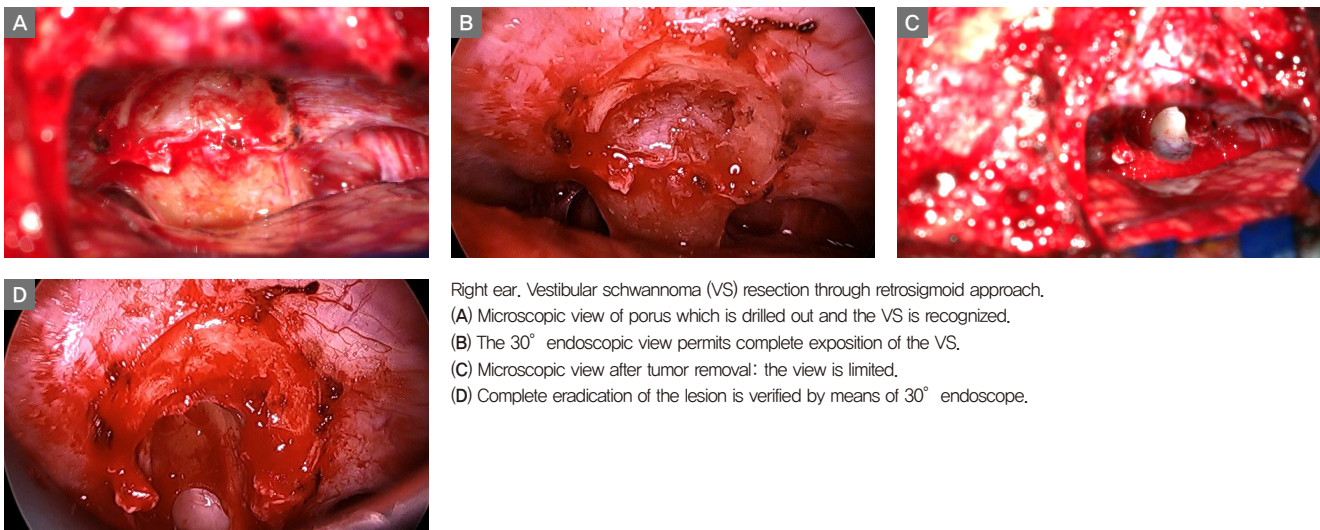
VESTIBULAR SCHWANNOMA

1904년 Balance [2]에 의해 소뇌교각(cerebellopontine angle)의 청신경초종의 수술이 처음 보고된 이후 1968년 House [3]가 경미로 접근법(translabyrinthine approach)을 소개하였고, 이는 현재까지 중두개와 접근법(middle cranial fossa approach), 후 S상 정맥동 접근법(retrosigmoid approach)와 함께 가장 많이 사용되는 수술법 중 하나이다.

최소침습 후 S상 정맥동 접근법(minimally invasive retrosigmoid approach)은 열쇠 구멍 접근법(key hole approach)이라고도 불리우며, 1990년대부터 청신경초종 뿐 아니라 hemifacial spasm, trigeminal neuralgia, Meniere's disease 등의 질환에서 후두개와(posterior fossa)에 접근하기 위한 방법으로 내시경과 현미경을 복합 이용한 접근법이 널리 사용되어 왔다.[4] 후두개와 경막에 열쇠 구멍 만한 절개를 가하고 소뇌교각의 종양을 제거할 때 현미경만으로는 내이도저(fundus)의 관찰이 불가능하기 때문에 30° 내시경을 사용하여 완벽한 시야를 확보할 수 있고 안면신경과 와우신경을 보존하여 잔존 종양을 완전히 제거할 수 있다(Fig. 1).

2010년대에 들어 Marchioni 등[5]은 내시경을 이용하여 외이도를 통해 내이로 직접 접근하는 경이도 경갑각 접근법(transcanal transpromontorial approaches, TTA)을 보고하였다. 이 접근법은 경미로 접근법처럼 청력을 보존할 수 없으나, 다른점은 내이도를 외측에서 내측방향으로 직접 관찰이 가능하다는 것과 측두골의 손상 및 후이개 피부 연조직의 절개가 필요 없는 최소 침습접근

Fig. 1



법이라는 점이다. Alicandri-Ciufelli 등[6]과 Marchioni 등[7]은 내시경만으로 종양제거가 가능한 경우를 exclusive endoscopic TTA (EETTA), 현미경을 같이 사용한 경우를 Expanded TTA (ExpTTA)로 구분하였고 각각을 내이도에 국한 되어있거나 소뇌교각의 최외측을 일부 침범하는 종양(EETTA, Koos I 단계; ExpTTA, Koos I-III 단계)에 적용하였다.

수술은 외이도 고막피판을 원형으로 절제 후 이소골을 제거하고 안면신경의 고막분절을 슬상신경절까지 추적하여 노출시킨다. 미세 드릴을 이용해 난원창을 제거하고 중이강에 인접한 주요 혈관 및 구조물들의 위치를 숙지하여 중이강 내 공간을 확보한다. Spherical recess를 지표로 감각을 드릴링 하여 와우의 기저, 중간, 첨단 회전부 및 전정까지 노출시켜 내이도 입구에 도달한다. 내이도의 경막을 완전히 노출시킨 뒤 안면신경을 보존하며 청신경초종을 완전히 제거할 수 있다. 종양을 제거 한뒤 30도 내시경을 이용하여 잔존종양 여부와 신경 모니터링을 통해 안면신경의 보존을 확인한다. Marchioni 등[7]은 기존의 경미로 절제술 에서와 같이 복부 지방을 채취하여 내이와 중이강의 빈 공간을 수복하고 이관을 폐쇄하였으며 외이도를 맹관화 하였다. 본 저자의 경우 기존의 EETTA법을 수정하여 이개와 이주연골 및 연조직, 이수지방과 Surgicel (Ethicon Inc., Cincinnati, OH, USA)를 이용하여 신체의 다른 부위의 절개 없이 노출된 내이 공간을 수복하였고 연골을 이용한 고실성형술을 시행하여 외이도를 재건하였다(Fig. 2). 이러한 변형된 EETTA법을 시행한 7례의 환자에서 경미로 접근법에 비교하여 수술시간과 입원기간의 단축을 경험하였다.[8]

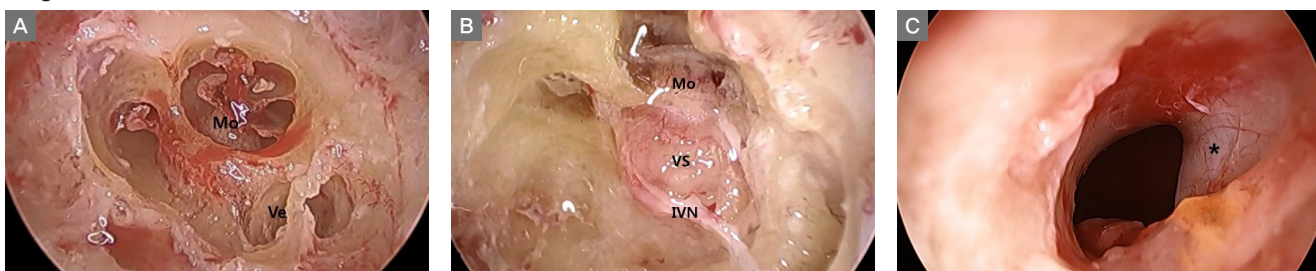
최근 Koos I 단계 혹은 II 단계 청신경초종에서 와우신경을 보존하여 청력의 재건을 도모할 수 있다는 보고가 있었다.[9] 기존의 EETTA법의 경우 내이를 노출시키기 위해 와우를 개방하는 과정에서 청력의 소실이 필수 불가결 했던 반면, 경이도 후와우 접근법

(transcanal retrocochlear approach)으로 명명된 이 접근법은 감각을 드릴링 시 기저회전의 일부만을 노출시켜 내이도저부터 내이공(porus)까지를 개방하고 와우 중간, 첨단 회전의 노출을 최소화하여 modiolar structure를 손상시키지 않고 와우신경을 보존함으로써 인공와우 이식 등의 재활이 가능하다는 것이다. 이는 기존의 청신경초종의 치료 전략에서 내이도에 국한된 작은 종양은 일반적으로 청력이 소실되거나 전정증상이 심해져 수술을 결정할 때까지 경과관찰 하며 크기를 키운다는 전략과는 상충되는 의견으로, 조기 수술을 통해 기능의 보존이 가능하다는 새로운 패러다임을 제시하고 있다.

■ FACIAL NERVE DECOMPRESSION

안면신경의 접근은 도달하고자 하는 부위에 따라 고실분절(tympanic segment)의 경우 현미경을 이용한 경외이도(transcanal) 접근법이 가능하며, 더 앞쪽으로 슬상신경절(geniculate ganglion)을 노출시키기 위해서는 시야의 한계로 후이개 절개가 반드시 필요하다. 또한 이차슬부(second genu)의 노출을 위해서도 경유양동(transmastoid) 접근을 요하며, 중두와 접근을 통해 내이도와 미로분절(labyrinthine segment)에 도달할 수가 있다. 다양한 중이 수술에서 이미 내시경은 사각을 없애 현미경보다 쉽게 시야를 확보할 수 있음이 알려졌고, 이는 안면신경의 접근에도 적용이 된다. Marchioni 등[10]은 내시경만을 이용한 경외이도 접근법으로 12구의 사체해부과 2명의 안면신경 감압술을 보고 하였는데, 안면신경에 도달하기 위한 지표로써 고실분절과 와우각상돌기(cochleariform crest)의 위치 관계, 슬상신경절과 transverse crest (cog) 와의 위치 관계에 대하여 분석하였다. 기존 현미경을 이용한 경외이도 접근법과 마찬가지로 내시경

Fig. 2



Vestibular schwannoma (VS) resection through exclusively endoscopic transcanal transpromontorial approach.

(A) Left ear. Skeletonization of the cochlea and vestibule. Spherical recess is the landmark of internal auditory canal.

(B) Left ear (different case). The tumor is revealed which is originated from inferior vestibular nerve (IVN).

(C) Left ear (different case). The porus is endoscopically visualized after the tumor resection preserving the facial nerve (asterisk). Mo: modiolus, Ve: vestibule

을 이용하여 슬상신경절까지 시야를 확보하기 위해서는 전상고실(anterior epitympanum) 접근을 위해 침골과 추골두부의 제거 및 atticotomy가 필수적이다. 일부 사례에서는 슬상신경절이 바로 노출이 되었지만 대부분에서 와우각상돌기보다 전, 상방을 조금 더 드릴링 하여 안면신경관(fallopian canal)의 골부 일부를 제거하면 대천추체신경(greater petrosal nerve)와 미로분절의 최외측이 노출되었다. 또한 가측 반고리관과 피라미드릉(pyramidal eminence)을 지표로 시야 확보를 위해 lateral attic의 후방 골부를 드릴링하여 유양동의 삭개 없이도 이차슬부를 노출시킬 수 있었다.

이소골 연쇄가 반드시 소실된다는 점에서 경외이도 접근을 통한 안면신경 감압술은 이득이 없다고 볼수도 있으나, 임상적으로 안면신경 감압술이 흔히 시행되는 외상 후 안면마비의 경우 슬상신경절 주변 영역으로 접근을 요하는 경우가 가장 많고, 청력의 보존 여부에 따라 중두개와 접근 혹은 경미로 접근법 등의 경막을 여는 침습적인 수술을 대체할 수 있다는 장점이 있다. 본 저자는 2명의 외상성 고실분절 안면신경관 손상을 보이는 환자에서 내시경을 이용한 경외이도 접근 안면신경감압술을 시행하여 슬상신경절에서 이차슬부까지 안면신경관을 노출하였다(Fig. 3). [11] 수술 후 6개월째에 각각 House-Brackmann grade (HB grade) IV에서 II로, V에서 III로 안면신경 마비가 개선되었고 경외이도 이소골 재건술(ossiculoplasty)를 동시에 시행하여 청력 또한 개선되었다. 여전히 안면신경 감압술을 위한 술기로는 경유양동 접근법이나 중두개와 접근법이 첫번째 선택될 수 있겠으나, 내시경적 접근법을 적용할 수 있는 일부 환자에서 최소침습적인 술기는 또 하나의 대안이 될 수 있겠다.

■ GLOMUS TUMOR

사구체 종양은 신경원성(neural crest origin) 양성종양으로 Fisch classification으로 분류하면 class A는 중이에만 국한된 고실 사구체 종양(glomus tympanicum) 이고, 중이를 벗어나 유양동, 이관, 외이도까지 침범하는 경우 class B 하고실 사구체 종양(glomus hypotympanicum)이다. Class C는 경정맥고실 사구체 종양(glomus jugulotympanicum) 또는 경정맥구 사구체 종양(glomus jugulare)으로 경정맥관에서 발생하는 것이며, class D는 사구체 종양이 두개 내로 침범한 경우를 말한다. [12] 고실 사구체 종양은 주로 고실갑각 부위에서 미주신경의 고실분지(Jacobson's nerve) 또는 부신경의 이개분지(Arnold's nerve)로부

터 기원하며 박동성 이명과 청력감소(전도성, 감각성 또는 혼합성)를 호소한다. 중이강에 국한된 종양은 일반적으로 고실 개방술을 통해 제거할 수 있고, 하고실과 안면신경와(facial recess), 고실동(sinus tympani)를 침범하는 경우 후이개 혹은 경유양동 접근이 필요하다.

앞서 여러 중이강 내 질환에서 내시경의 효용성을 입증하였듯이 중이강에 국한된 사구체 종양의 절제에도 큰 이점을 갖는다. Marchioni 등[13]은 3명의 환자를 대상으로 내시경을 이용한 고실 내 사구체 종양의 완전절제를 처음 보고 하였고, Killeen 등[14]은 14명의 증례를 보고하여 11례에서 내시경만을 이용하여 완전절제에 성공하였고, 3례에서 현미경을 함께 사용하였으며 그중 2례에서는 유양동 절제술을 추가 시행하였다. 모든 증례에서 종양의 완전절제를 이루었고 안면신경 마비등의 후유증은 나타나지 않았다. 이들은 Sanna 등[15]이 일찍이 보고한 44례의 현미경을 이용한 경외이도 접근술과 비교하여 같은 결과를 얻었음을 근거로 유양동이나 두개저로 파급되지 않은 중이강내의 사구체종양 절제술시 내시경 이용의 효용성을 제시하였다. 본 저자 또한 8세 환자의 증례에서 내시경만을 이용하여 경외이도 접근법을 통해 성공적으로 고실 사구체 종양을 제거한 바 있어 적절한 적응증의 환자에서 내시경 수술의 이점을 경험하였다(Fig. 4).

■ PETROUS APEX CHOLESTEROL GRANULOMA

콜레스테롤 육아종은 추체 침부에 발생하는 가장 흔한 병변으로, 측두골의 합기조직 어느 부위에서나 발생할 수 있으며 합기장으로 인한 미세혈관 파열과 콜레스테롤 결정에 대한 조직의 이물반응으로 발생한다고 알려져 있다. 대부분 무증상이나, 내이 및 중이 구조물이나 뇌신경등 주변 조직을 압박하여 난청, 두통, 이명, 어지럼증을 야기할 수 있다. 이러한 증상 발생시 수술적 치료의 대상이 되는데, 완전 절제하거나 종물을 둘러싸는 주위 구조물을 감압하여 내부를 배액하고 배액관을 거치하여 병변이 지속적으로 환기될 수 있도록 하는 방법이 있다. 추체 침부에 도달하기 위해 전방접근법인 경비강 접형동 접근법(transnasal transsphenoidal approach)이 시행되어 왔으나, 경동맥의 주행에 따라 일부에서만 적용이 가능하였다. Wick 등[16]은 경외이도 내시경 접근을 통해 양측에 발생한 추체침부의 콜레스테롤 육아종 증례에서 1년의 간격을 두고 양측 수술을 진행하였다. 이소골을 보존하고 하고실의 경동맥의 수직 추체분절, 경정맥구, 와우 하부사이의 좁은 공간으로 접근하여 약 5 x 6 mm, 3.5 x 3.5 mm 크기의 배액로를 각각 만들었고 성공적

으로 추체첨부의 콜레스테롤 육아종을 감압하여 수술전 보이던 안면 감각 저하와 경련, 청력 저하가 호전되었음을 보고 하였다. 또 다른 증례는 경이도 접근법 만으로 콜레스테롤 육아종을 배액 한 2개월만에 추체첨부의 출혈로 재발한 케이스로, 경유양동 하미로 접근 및 경이도 접근법을 결합하여 재수술을 진행하였고 수술 후 6개월까지 재발의 소견이 없었음을 보고 하였다. 추체첨부 병변의 배액 후 재발에 대해 아직까지 내시경만을 이용한 케이스가 적어 경유양동 하미로 접근법과의 차이를 비교한 유의미한 연구는 없다. 하지만, 경유양동 하미로 접근시 현미경과 내시경을 보조적으로 사용하여 콜레스테롤 육아종 내부의 공간을 확인하고 낭종 내부의 격막을 제거하여 완전히 배액을 하였을 경우 재발이 없었음이 보고된 바 있다.[17,18] 본 저자의 증례에서도 현미경과 내시경을 함께 사용하여 외전신경 마비를 보이던 추체첨부 콜레스테롤 육아종 환자의 경유양동 접근 배액술 후 3년이 경과하였으나 재발없이 경과관찰 중이다(Fig. 5).[19]

추체첨부 콜레스테롤 육아종의 치료를 위해 알려진 접근법, 즉

경유양동 접근법, 경비강 접형동 접근법에 비교하여 경이도 접근법은 가장 비침습적이며 내시경의 장점을 충분히 발휘한 수술법으로, 술기의 난이도가 다소 높다고 볼 수 있으나 적절한 증례의 적용 및 장기 추적결과에 대한 연구가 필요 할 것으로 보인다.

■ VENOUS MALFORMATIONS OF THE FACIAL NERVE

안면신경에 발생하는 정맥기형은 모든 측두하와 종양중 0.7%를 차지하는 드문 질환으로, 주로 혈관이 풍부한 슬상신경절 부근에 발생하며 느리게 성장하는 특징을 가진다. 하지만 작은 크기에서도 steal phenomenon을 유발하여 신경의 허혈을 일으켜 안면신경 마비를 보이거나, 종양의 크기나 위치에 따라 전도성 난청을 유발할 수 있다. 이러한 증상이 발생하면 수술적 치료가 필요하며, 기존 현미경을 이용한 수술 외에도 최근 내시경을 이용한 접근법이 보고되었다. Wick 등[20]은 HB grade IV의 안면마비와, 55 dB의 중등도

Fig. 3

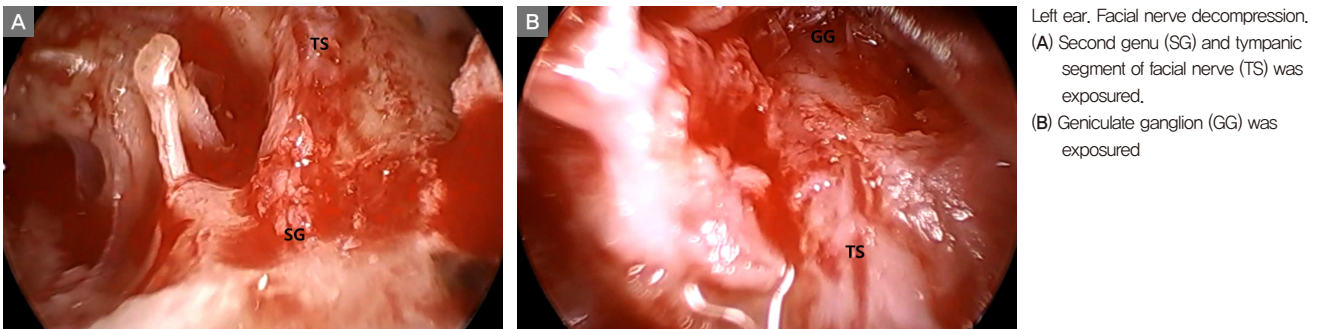


Fig. 4



Right ear, Glomus tympanicum.
(A) Dark red mass involves middle ear cavity.
(B) Axial computed tomography shows right middle ear opacification (arrow).
(C) The tumor exposition after tympanomeatal flap elevation

난청 및 25 dB의 air-bone (AB) gap을 보이는 환자에서 고실분절에 발생한 6 mm 안면신경 정맥기형을 내시경만을 이용하여 경이도 절제술을 시행하였다. 종양은 내시경을 통한 확대된 시야를 통해서도 안면신경으로부터 완벽한 분리가 불가능하여 안면신경을 포함한 en bloc 절제를 하였고, 결손된 안면신경부위는 대이개신경 (greater auricular nerve)를 채취하여 슬상신경절부터 유양분절까지 Surgicel (Ethicon Inc.)을 이용하여 문합되었다. 침골의 전위를 통한 이소골성형술을 동시에 진행하였고, 수술직후 안면신경 마비는 HB grade VI까지 악화되었으나 수술후 11개월째에 grade IV로 호전되었으며 청력은 30 dB, AB gap 5 dB로 호전되었다. 저자는 이 증례에 대하여 고실분절에 발생한 드문 케이스로 최초로 내시경을 이용한 안면신경 이식술을 시행한 의의를 밝혔다.

■ PERILYMPH FISTULA

선천 내이기형이 있는 소아는 대부분 난청 스크리닝시 발견이 되는데, 내이의 형태학적 구조 결함이 있는 경우 지주막하 공간과 중이강의 연결로 인한 이차성 세균성 뇌막염에 쉽게 노출이 된

다. 특히 뇌척수액 누출이 있을 때 만성 장액성 중이염으로 오진되는 경우가 많다. 이러한 경우 일반적인 치료법은 추체아전절제술 (subtotal petrosectomy)으로 유양동과 중이강의 모든 함기세포를 제거하고 이관을 포함하여 지방과 근조직으로 폐쇄하며 외이도를 봉합하는 것이다. Kou 등[21]은 선천 내이기형이 있는 소아에서 내시경적 경이도 접근법을 이용하여 뇌척수액 누출을 폐쇄 한 2례를 보고 하였다. 각각 13개월, 8세의 환자로 두명 다 한쪽귀는 정상 청력을 보이고 다른귀는 와우가 구획되지 않고 한 개의 비어있는 공동 형태로 태생5주차에 발생이 정지되어 발생하는 incomplete partition type I을 보였다. 주목할 점은 한 환아는 반복되는 삼출성 중이염으로 환기관 삽입술을 받은 후 이루가 지속되어 내원하였고, 다른 환아는 세균성 뇌막염으로 응급실을 통해 입원하여 발견된 것이다. 두 환아 모두 이화된 귀의 청력은 소실되어 있었고, 내시경적 경이도 접근법을 통해 일부가 결손된 등골을 제거하자 난형낭에서 뇌척수액 누출이 발견되었고 측두근조직을 이용해 난형낭을 폐쇄하는데 성공하였다. 저자들이 주장하는 추체아전절제술이 아닌 경이도 접근을 통한 이점으로는 비교적 통증에 더욱 예민한 소아환자에서 통증을 현저히 감소시켰다는 점과, 추후 인공와우 이식을 도

Table 1. Summary

Pathology	References	Year	Cases	Advantage
Vestibular schwannoma	Moon et al. [8]	2019	7	- No additional violation except ear - Minimally invasive
	Marchioni et al. [26]	2018	49	- Low postoperative morbidity - Good functional recovery
	Marchioni et al. [7]	2018	20	- Bimanual dissection of the tumor - Minimally invasive
	Marchioni et al. [27]	2018	29	- Minimally invasive
	Kahinga et al. [11]	2018	2	- Simultaneous ossiculoplasty
Facial nerve, petrous apex tumor	Wick et al. [16]	2017	3	- Complete removal - No recurrence - Immediate neurologic recovery - Distinct exposition
	Sugimoto et al. [28]	2017	2	
	Na et al. [19]	2018	1	
Glomus tumor	Daneshi et al. [29]	2017	13	- Better exposure and access - Minimally invasive
	Killeen et al. [14]	2017	14	
Venous malformations of the facial nerve	Wick et al. [20]	2017	1	- Short hospitalization - Minimally invasive
Perilymph fistula	Kou et al. [21]	2016	2	- Low postoperative morbidity and pain - Minimally invasive

모할 기회를 남겨 두었다는 점이다. 이는 최소 침습적 내시경의 활용 분야로써 충분한 이점을 보이며 후이개 절개술에 대한 대안이 될 수 있을 것이다.

DISCUSSION

내시경을 이용한 신경이과학 수술은 기존의 수술방법을 근본적으로 바꿔 놓았지만, 여전히 두 손을 자유롭게 이용할 수 있는 현미경 수술에 익숙한 많은 외과의들은 새로운 수술법의 필요성에 의문을 가질 지도 모른다. 하지만 외과의사는 술장비(surgical devices)에 종속되는 사람이 아니라 치료 과정이나 결과의 이득에 따라 수술장비를 선택하는 사람으로 환자에게 상황에 따라 환자에게 이득

이 되는 방향으로 기구를 선택할 수 있다.

앞서 소개한 다양한 증례를(Table 1) 통해 현미경을 이용한 접근이 불완전하게 여겨지는 공간(blind spot)이 내시경의 도움으로 수월하게 시각화가 가능함을 확인하였다. 물론 내시경수술이 매우 제한적인 좁은 영역에서 이루어 지고 적은 양의 출혈로도 시야를 방해받을 수 있다는 기술적인 어려움과 좁은 외이도를 가진 환자에서 기구의 접근 자체가 어렵다는 한계가 있다. 또한 현미경 수술에 익숙할수록 한 손을 이용한 수술에서 불편함을 느끼거나 이차원적인 시야에 적응하는 시간이 필요 할 수 있다. 이러한 한계를 극복하고자 좀 더 작은 직경으로도 해상도가 뛰어난 내시경 및 입체적 시야의 구현이 가능한 내시경(3 dimensional endoscopes)의 개발이 진행되고 있고, 한손으로도 수술이 용이하게끔 내시경 수술에 맞춘

Fig. 5

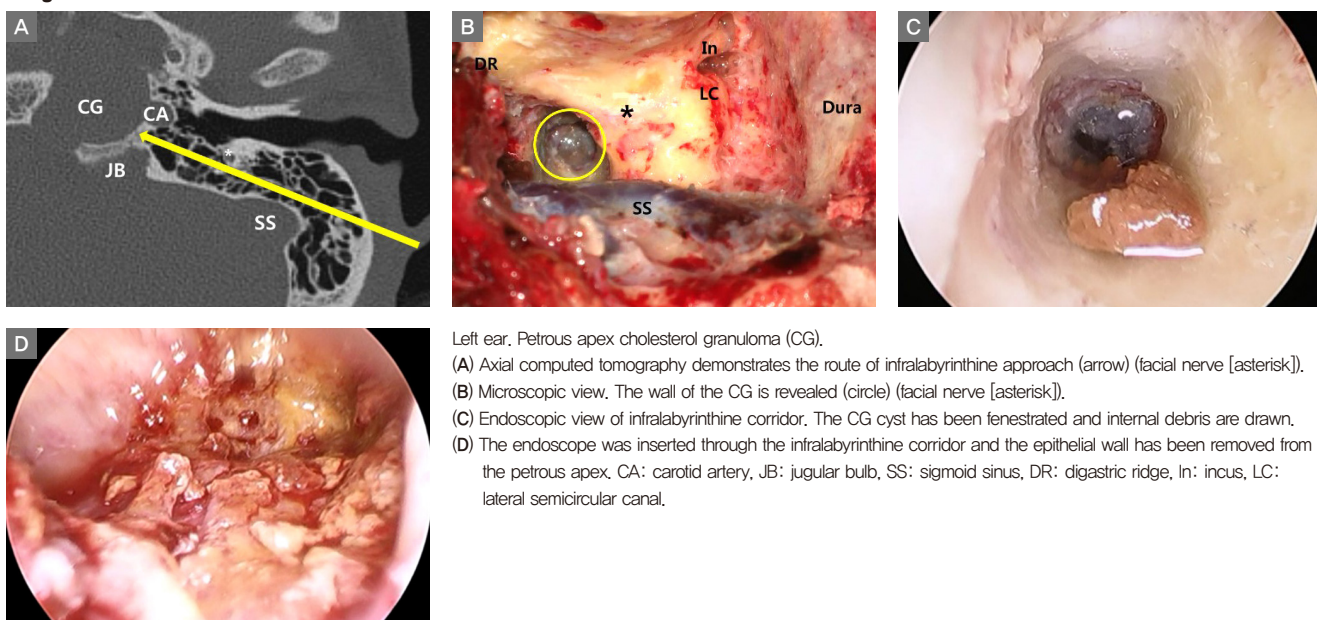


Fig. 6



기구들(instruments)도 개발되었다. 최근에는 양손으로 내시경 수술이 가능하게끔 해주는 많은 holder들(endoscopic holders)도 개발 중이며 이러한 분야에 대한 연구 모임도 생겨났다. 시대의 흐름과 새로운 기술의 발전을 거스를 수 없고, 미래에는 내시경 수술이 신경외과학 수술에서 중요한 역할을 담당하게 될 것이다.

수술자는 해부학적 구조에 대한 충분한 지식과 내시경에 익숙해지는 단계적인 훈련이 필요하며, 무엇보다 적절한 대상자의 선정이 중요하다. 기존의 현미경을 이용한 수술과 내시경을 이용한 수술은 경쟁적인 역할이 아닌 상호 보완적인 역할을 하며 신경외과 영역의 새로운 지평을 넓힐 것으로 기대한다.

■ EXOSCOPE, FUTURE OF OPERATING MICROSCOPE

현대의 두개저 외과학의 발전은 수술현미경의 발달로부터 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 현미경은 확대된 시야는 물론 양안을 이용한 원근감을 부여하여 선명하고 밝은 고품질의 수술 시야를 구현하였다. 하지만 현미경의 근본적인 단점이 몇 가지 있는데, [22] 첫째 외과의는 현미경을 통한 아주 좁은 수술 시야에 수시간동안 집중해야 하고 이는 목을 구부리거나 꺾는 등 인체공학적으로 매우 불편한 자세인 경우가 많다. 둘째, 수술현미경은 환자의 몸을 거의 덮을 정도로 부피가 매우 크고 수술실내에서 가장 크기가 큰 기기이다. 셋째, 심도가 매우 얇아 수술 중 초점을 자주 맞추어야 원하는 시야를 유지할 수 있다. 마지막으로 보조의를 위한 측면 현미경의 경우 집도의와 같은 시야를 확보하고 수술 보조를 하기 위해 아크로바틱한 자세를 취해야만 하는 상황이 발생한다. 이러한 단점에도 불구하고 많은 외과의들은 이 불편함이 본인의 수련 부족 때문이라 자책하며, 본인을 현미경에 맞추어 나가는 혹독한 수련을 하게 된다.

최근 의료 광학 기술의 발달은 이러한 문제점에 대한 해결책을 제시하는데, 이는 바로 체외 비디오 망원경(extracorporeal video telescope), 즉 “Exoscope” 이다(Fig. 6). [23,24] 이름만으로는 내시경(endoscope)과 비슷해 보이지만 태생적으로 수술 현미경을 대체하기 위해 개발되었고, 쓰임 또한 현미경이 적용되는 곳과 거의 일치한다. Exoscope은 현미경보다 초점거리가 더 길고(250–750 mm) 몸체의 부피가 작아 기기가 수술 영역에서 더 멀리 위치하기 때문에 집도의는 더 넓은 공간을 확보할 수 있다. 일반적으로 현미경을 능가하는 고품질의 밝은 해상도를 제공하며, 디스플레이로 비디오 모니터를 이용하기 때문에 집도의와 보조의, 수술실의 모든

의료진은 수술 중에도 신체의 구속으로부터 해방될 수 있다. 또한 현미경에 비해 심도가 깊어 수술 중 초점을 다시 맞추는 빈도를 줄일 수 있다. 이미 많은 뇌신경 수술, 척추 수술에서 exoscope은 사용되고 있고, [25] 청신경초종 등의 신경외과 수술시에도 적용이 보고되었다. 지금까지 임상에 적용되고 보고된 바에 의하면, 처음 사용시 3차원적 원근감은 현미경에 비해 떨어지는 측면이 있으나 이는 곧 익숙해졌다고 하며, 확대된 시야를 위해 exoscope을 수술영역 가까이 위치하였을 경우 렌즈에 이물이 묻어 닦아내는 과정이 필요하였다고 하나 이것은 이미 현미경을 사용했을 때 경험하던 제한점 중 하나이다. 술자들은 대체적으로 exoscope의 사용도에 만족감을 표하였다. [22]

Exoscope은 수술 현미경을 단순히 대체할 뿐 아니라 확장성이 높아 새로운 영상기법과 접목할 수 있다. 예를 들면 빛의 파장, 즉 autofluorescence를 바꾸어 광학 분리 필터를 이용해 이미 다른 분야에서 이용되고 있는 narrow band image를 적용하여 헤모글로빈에 대한 빛의 흡수성에 따라 표층 점막의 혈관과 종양을 쉽게 구분할 수 있는 기술이 있다. 또한 디스플레이에 네비게이션 이미지를 함께 투영하여 편의성을 높이고 수술 성적을 향상시킬 수 있다. [23] 이렇게 exoscope의 여러가지 장점은 가까운 장래에 수술현미경을 대체할 수 있는 잠재력이 높다고 보여 지며, 다양한 광학기술의 접목으로 새로운 패러다임을 제시할 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

- Kim HC, Cho WS, Seong JY, Jeon ES, Lee SS, Cho HH. The efficacy of endoscopic exploratory tympanotomy in conductive hearing loss patients. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2017;60:7-12.
- Balance CA. Some points in the surgery of the brain and its membranes. *J Am Med Assoc* 1907;49:1712.
- House WF. Acoustic neuroma. Case summaries. *Arch Otolaryngol* 1968;88:586-91.
- Miyazaki H, Deveze A, Magnan J. Neuro-otologic surgery through minimally invasive retrosigmoid approach: endoscope assisted microvascular decompression, vestibular neurectomy, and tumor removal. *Laryngoscope* 2005;115:1612-7.
- Marchioni D, Alicandri-Ciufelli M, Mattioli F, Nogueira JF, Tarabichi M, Villari D, et al. From external to internal auditory canal: surgical anatomy by an exclusive endoscopic approach. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013;270:1267-75.
- Alicandri-Ciufelli M, Federici G, Anschuetz L, Pavesi G, Todeschini A, Presutti L, et al. Transcanal surgery for vestibular schwannomas: a pictorial review of radiological findings, surgical anatomy and comparison to the traditional translabyrinthine approach. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2017;274:3295-302.
- Marchioni D, Carner M, Soloperto D, Bianconi L, Sacchetto A, Sacchetto L, et al. Expanded transcanal transpromontorial approach: A novel surgical technique for cerebellopontine angle vestibular schwannoma removal. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2018;158:710-5.
- Moon IS, Cha D, Nam SI, Lee HJ, Choi JY. The feasibility of a modified exclusive endoscopic transcanal transpromontorial approach for vestibular schwannomas. *J Neurol Surg B Skull Base* 2019;80:82-7.
- Marchioni D, Veronese S, Carner M, Sacchetto A, Sacchetto L, Masotto B, et al. Hearing restoration during vestibular schwannoma surgery with transcanal approach: Anatomical and functional preliminary report. *Otol Neurotol* 2018;39:1304-10.
- Marchioni D, Alicandri-Ciufelli M, Piccinini A, Genovese E, Monzani D, Tarabichi M, et al. Surgical anatomy of transcanal endoscopic approach to the tympanic facial nerve. *Laryngoscope* 2011;121:1565-73.
- Kahinga AA, Han JH, Moon IS. Total transcanal endoscopic facial nerve decompression for traumatic facial nerve palsy. *Yonsei Med J* 2018;59:457-60.
- Jang KS, Cho YS. Clinical features and surgical outcomes of glomus tumors in the temporal bone and skull base. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2014;57:752-8.
- Marchioni D, Alicandri-Ciufelli M, Gioacchini FM, Bonali M, Presutti L. Transcanal endoscopic treatment of benign middle ear neoplasms. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2013;270:2997-3004.
- Killeen DE, Wick CC, Hunter JB, Rivas A, Wana GB, Nogueira JF, et al. Endoscopic management of middle ear paragangliomas: A case series. *Otol Neurotol* 2017;38:408-15.
- Sanna M, Fois P, Pasanisi E, Russo A, Bacciu A. Middle ear and mastoid glomus tumors (glomus tympanicum): an algorithm for the surgical management. *Auris Nasus Larynx* 2010;37:661-8.
- Wick CC, Hansen AR, Kutz JW, Jr., Isaacson B. Endoscopic intracochlear approach for drainage of petrous apex cholesterol granulomas: A case series. *Otol Neurotol* 2017;38:876-81.
- Mattox DE. Endoscopy-assisted surgery of the petrous apex. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;130:229-41.
- Carlton DA, Illoreta AM, Chandrasekhar SS. Endoscopic-assisted transmastoid decompression of petrous apex cholesterol granuloma. *Laryngoscope* 2017;127:496-9.
- Na G, Bae S, Lee JM, Moon IS. Endoscopic-assisted infralabyrinthine approach to petrous apex cholesterol granuloma. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2019;62:60-3.
- Wick CC, Sakai M, Richardson TE, Isaacson B. Transcanal endoscopic ear surgery for excision of a facial nerve venous malformation with interposition nerve grafting: A case report. *Otol Neurotol* 2017;38:895-9.
- Kou YF, Zhu VF, Kutz JW, Jr., Mitchell RB, Isaacson B. Transcanal endoscopic management of cerebrospinal fluid otorrhea secondary to congenital inner ear malformations. *Otol Neurotol* 2016;37:62-5.
- Garneau JC, Laitman BM, Cosetti MK, Hadjipanayis C, Wana G. The use of the exoscope in lateral skull base surgery: Advantages and Limitations. *Otol Neurotol* 2019;40:236-40.
- Nishiyama K. From exoscope into the next generation. *J Korean Neurosurg Soc* 2017;60:289-93.
- Huang M, Barber SM, Steele WJ, 3rd, Boghani Z, Desai VR, Britz GW, et al. Videoexoscopic real-time intraoperative navigation for spinal neurosurgery: a novel co-adaptation of two existing technology platforms, technical note. *J Robot Surg* 2018;12:251-5.
- Oertel JM, Burkhardt BW. Vitom-3D for exoscopic neurosurgery: Initial experience in cranial and spinal procedures. *World Neurosurg* 2017;105:153-62.
- Marchioni D, Soloperto D, Masotto B, Fabbris C, De Rossi S, Villari D, et al. Transcanal transpromontorial acoustic neuroma surgery: Results and facial nerve outcomes. *Otol Neurotol* 2018;39:242-9.
- Marchioni D, Rubini A, Nogueira JF, Isaacson B, Presutti L. Transcanal endoscopic approach to lesions of the supragenicular ganglion fossa. *Auris Nasus Larynx* 2018;45:57-65.
- Sugimoto H, Hatano M, Noda M, Hasegawa H, Yoshizaki T. Endoscopic management of petrous apex cholesteatoma. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2017;274:4127-30.
- Daneshi A, Asghari A, Mohebbi S, Farhadi M, Farahani F, Mohseni M. Total endoscopic approach in glomus tympanicum surgery. *Iran J Otorhinolaryngol* 2017;29:305-11.